

510,199

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



Rec'd PCT/PTO 29 SEP 2004

(43) 国際公開日
2003 年10 月30 日 (30.10.2003)

PCT

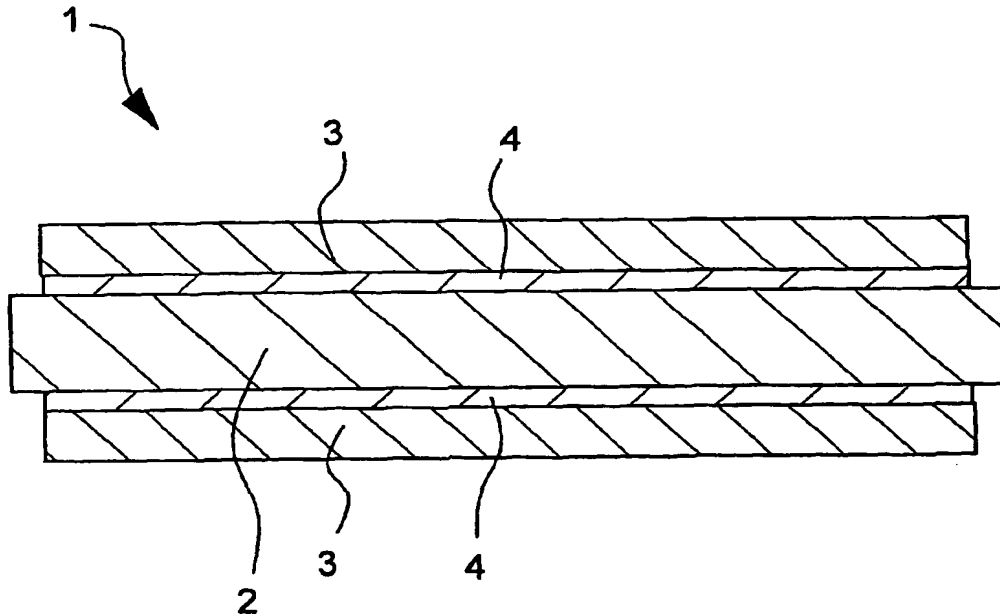
(10) 国際公開番号
WO 03/090277 A1

- (51) 国際特許分類: H01L 23/14, 23/373, H05K 3/38
- (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 長瀬 敏之 (NAGASE, Toshiyuki) [JP/JP]; 〒311-0102 茨城県 那珂郡 那珂町向山 1 0 0 2 番地 1 4 三菱マテリアル株式会社 総合研究所 那珂研究センター内 Ibaraki (JP). 長友 義幸 (NAGATOMO, Yoshiyuki) [JP/JP]; 〒311-0102 茨城県 那珂郡 那珂町向山 1 0 0 2 番地 1 4 三菱マテリアル株式会社 総合研究所 那珂研究センター内 Ibaraki (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP03/05054
- (22) 国際出願日: 2003 年4 月21 日 (21.04.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2002-118359 2002 年4 月19 日 (19.04.2002) JP
特願2003-88129 2003 年3 月27 日 (27.03.2003) JP
- (74) 代理人: 志賀 正武, 外 (SHIGA, Masatake et al.); 〒169-8925 東京都 新宿区 高田馬場三丁目 2 3 番 3 号 O R ビル Tokyo (JP).
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱マテリアル株式会社 (MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8117 東京都 千代田区 大手町一丁目 5 番 1 号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO,

[続葉有]

(54) Title: CIRCUIT BOARD, PROCESS FOR PRODUCING THE SAME AND POWER MODULE

(54) 発明の名称: 回路基板、その製造方法、およびパワーモジュール



(57) Abstract: A circuit board comprising insulating ceramic substrate (2) and, bonded to both sides thereof through brazing material (4), conductive layers (3). The conductive layers (3) are constituted of Al in a proportion of 99.98 mass% or more. The average crystal grain diameter of Al is in the range of 0.5 to 5 mm, and the standard deviation (σ) of crystal grain diameter is 2 mm or less. The conductive layers both contain Cu, Fe and Si in an amount of 20 ppm or more. The area of crystals with the maximum crystal grain diameter which are contained in the conductive layers is 15% or less of the area of insulating ceramic substrate (2).

[続葉有]



WO 03/090277 A1



NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU,
ZA, ZM, ZW.

OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ,
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許
(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,
GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約: この回路基板は、絶縁セラミックス基板2の両面に導電層3がろう材4を介して接合されたものである。導電層3は99.98質量%以上のAlを含み、その平均結晶粒径は0.5mm以上かつ5mm以下であり、結晶粒径の標準偏差 σ は2mm以下である。導電層はいずれも20ppm以上のCu、FeおよびSiを含有する。導電層に含まれる最大結晶粒径を有する結晶の面積は、絶縁セラミックス基板2の面積の15%以下である。

明 細 書

回路基板、その製造方法、およびパワーモジュール

技術分野

本発明は、パワーモジュール、およびパワーモジュールに使用される回路基板およびその製造方法に関する。この技術は特に、H E V（Hybrid Electric Vehicle；ハイブリッド電気自動車）などに用いられる高信頼性インバータモジュール用パワーモジュール等に好適に適用できる。

背景技術

従来、パワーモジュール等に利用される半導体装置においては、アルミナ、ベリリア、窒化ケイ素、窒化アルミニウム等のセラミックス基板の表裏面に、C u又はA lからなる導電層および放熱板がそれぞれ形成された回路基板が用いられている。このような回路基板は、樹脂基板と金属基板との複合基板、あるいは樹脂基板よりも、高絶縁性が安定して得られる。

導電層及び放熱板がC uである場合には、セラミックス基板やはんだとの熱膨張差に起因する熱応力の発生が避けられず、長期的な信頼性が不十分になりやすい。これに対し、導電層及び放熱板がA lである場合には、熱伝導性や電気伝導性ではC uよりも劣るものの、熱応力を受けた際に容易に塑性変形し、応力が緩和されるため、信頼性が高い利点がある。

特開2001-53199号公報、および特開平8-335652号公報には関連技術が開示されている。

ところで、絶縁セラミックスの両面に圧延材のA l板を接合するには、ろう材を用いて500℃以上の高温で接合する必要がある。この場合、ろう付けした後に常温状態で反りを生じることがあり、この反りが、回路基板製造工程やパワーモジュールを製造するアセンブリ工程での不良を発生する原因となっていた。

反りの原因は、図3Aに示すように、ろう付け工程において導電層中のA l結晶が異常に大きく成長することにあると考えられる。結晶粒径が著しく大きくな

ることにより、絶縁セラミックス基板の両面に形成された導電層の機械的特性に異方性が生じ、応力の不均衡から反りを生じるのである。絶縁セラミックス基板の表裏面に導電層が接合される場合、それぞれの導電層の厚みが等しくされることが応力均衡の点から好ましい。

A 1 結晶の粒径は添加元素を増加することによって抑制できるが、添加元素量が増えると応力緩和効果が低下する。このため、A 1 の 0. 2 % 耐力や加工硬化指数が基準値よりも大きくなり、例えば $-40 \sim 125^{\circ}\text{C}$ の温度サイクル試験をおこなった際に、セラミックス基板に割れを生じる可能性がある。

本発明は上記事情に鑑みてなされたもので、回路基板の反りを低減すること、およびセラミックス基板の割れを防止することを課題とする。

発明の開示

本発明の回路基板は、絶縁セラミックス基板の両面に導電層が接合され、前記導電層は 99. 98 質量% 以上のアルミニウムを含み、その平均結晶粒径は 0. 5 mm 以上かつ 5 mm 以下であり、結晶粒径の標準偏差 σ は 2 mm 以下である。

導電層の結晶粒径は、導電層の表面を NaOH 水溶液、HF、または Ga など でエッチングし、導電層のマクロ組織を露出させた後、光学顕微鏡もしくは電子顕微鏡 (SEM) により組織を観察することにより、測定できる。

前記導電層は、Cu、Fe、Si のそれぞれを 20 ppm 以上含有し、圧延されたものであってもよい。前記導電層は 15 % 以上の圧下率で圧延されていてもよい。この場合、A 1 結晶の異常成長を抑制でき、結晶粒径のばらつきを減らす効果が得られる。

最大結晶粒径を有する結晶の面積は、前記絶縁セラミックス基板の面積の 15 % 以下であってもよい。この場合、導電層の機械的特性に異方性が生じることを防止する効果がさらに高い。

前記絶縁セラミックス基板は、 Al_2O_3 、AlN、および Si_3N_4 の少なくとも 1 種により形成されていてもよい。前記導電層は前記絶縁セラミックス基板表面にろう材を用いて接合されていてもよい。前記ろう材は、Al-Si 系、Al-Ge 系、Al-Mn 系、Al-Cu 系、Al-Mg 系、Al-Si-Mg 系、

Al-Cu-Mn系、およびAl-Cu-Mg-Mn系のろう材から選択される1または2以上のろう材であってもよい。この場合、導電層と絶縁セラミックス基板との接合が良好になる。

本発明のパワーモジュールは、前記回路基板と、この回路基板を支持する放熱板とを有する。前記回路基板の前記導電層の少なくとも一部は、前記放熱板に対して、前記ろう材よりも融点の低いろう材により接合されていてもよい。

一方、本発明の回路基板の製造方法は、絶縁セラミックス基板上にろう材を介して、99.98質量%以上のアルミニウムを含む導電層を配置し、これらを50kPa以上かつ300kPa以下の力で圧接させつつ、真空中または不活性ガス中で600℃以上に加熱することにより前記導電層と前記絶縁セラミックス基板とを前記ろう材で接合し、かつ、前記導電層の平均結晶粒径を0.5mm以上かつ5mm以下、結晶粒径の標準偏差 σ を2mm以下にする。

前記製造方法は、99.98質量%以上のアルミニウムを含む板材を熱処理したのち、15%以上の圧下率で圧延を行うことにより前記導電層を得る工程をさらに有していてもよい。最終の熱処理からの圧下率が15%以上にされることにより、導電層の0.2%耐力を35N/mm²程度以下、Al材の加工硬度指数を0.18程度以下にすることができる。このため、繰り返し温度変化に曝された場合のセラミックス基板の割れ等を防ぐ効果が高められる。例えば、-40℃～125℃の温度サイクル試験をおこなった際に、基板に割れが生じるまでのサイクル数を高めることができる。温度サイクル試験とは、例えば、回路基板に冷熱衝撃試験器にて-40℃×30分および125℃×30分を1サイクルとする温度処理を繰り返し行う試験である。

本発明によれば、導電層の平均結晶粒径が0.5mm以上5mm以下とされ、結晶粒径の標準偏差 σ が2mm以下であるから、導電層の機械的特性に異方性が生じにくく、回路基板の反りが低減できる。また、導電層は99.98質量%以上のアルミニウムを含有するから応力緩和能力も大きく、温度変化に曝されてもセラミックス基板の割れ等が生じにくい。したがって、本発明によれば、回路基板の反りを低減できるだけでなく、温度変化に曝された場合にもセラミックス基板に割れ等の不具合が生じることが防止できる。

導電層の平均結晶粒径が5 mmより大きいと導電層の機械的特性に異方性を生じて基板に反りが生じ易くなる。平均結晶粒径が0.5 mmより小さいと、加工硬化が大きくなるなど機械的特性が変化し、温度変化に曝された際に変形抵抗が増し、セラミックス基板の割れや、半導体チップをはんだ付けした部分にクラックが生じ易くなる。結晶粒径の標準偏差が2 mm以上であると、導電層の結晶粒径のばらつきが大きくなりすぎ、機械的特性に異方性を生じる可能性がある。

前記導電層の平均結晶粒径は0.8 mm以上1.5 mm以下、結晶粒径の標準偏差 σ は1 mm以下であるとより好ましい。この場合、温度変化に曝されたときのセラミックス基板の割れ等の不具合をさらに防止できる。

図面の簡単な説明

図1は、本発明に係る回路基板の実施形態を示す断面図である。

図2は、反り量を説明するための断面図である。

図3 Aおよび図3 Bは、結晶粒径測定を説明するための模式図であり、図3 Aは従来技術における結晶例を示し、図3 Bは本発明の回路基板の導電層における結晶の例を示す。

図4は、本発明に係るパワーモジュールの実施形態を示す断面図である。

図5は、本発明に係る実施例において、平均結晶粒径と温度サイクル寿命の関係を示すグラフである。

図6は、本発明に係る実施例において、セラミックス基板面積に占める最大結晶の面積の割合と反り量との関係を示すグラフである。

図7は、接合後のA1板中に拡散したSiの濃度分布を示すグラフである。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明に係る回路基板およびその製造方法の実施形態を図面に基づいて説明する。

図1は、本発明の第1実施形態の回路基板1を示す断面図であり、この回路基板1は、絶縁セラミック基板2の両面のそれぞれに、ろう材層4を介して、A1板（導電層）3を接合したものである。

絶縁セラミック基板2の材質は限定されないが、好ましくは Si_3N_4 、 AlN または Al_2O_3 から選択される1種または2種の複合材とされる。このなかでも、特に AlN が好ましい。この AlN は、熱伝導率が $170\sim200\text{W/mK}$ と高く、導電層の Al に近い値であるため、導電層上に搭載される Si チップの熱を速やかに放熱させることができる。また、 AlN の熱膨張係数が $4.3\times10^{-6}/^\circ\text{C}$ と低く、 Si チップの熱膨張係数に近い値であるため、 Si チップを固定しているはんだにクラックを生じさせにくい。絶縁セラミックス基板2の厚さは限定されないが、一例として $0.3\sim1.5\text{mm}$ 程度とされる。絶縁セラミック基板2の形状は一般的には矩形状であるが、その他の形状であってもよい。

Al 板3は 99.98% 以上の Al を含有する。 Al 含有率がそれよりも低いと、 Al 板3の応力緩和効果が低下し、温度変化に曝された際に回路基板1の反りやセラミックス基板2の割れが生じやすくなる。 Al 板3の厚さは限定されないが、一例として $0.25\sim0.6\text{mm}$ にされる。より具体的な実施形態では、絶縁セラミック基板2は、例えば厚さ 0.635mm の AlN 板、 Al 板3は、例えば厚さ 0.4mm とされる。 Al 板3はセラミックス基板2の全面に接合されていてもよいし、セラミックス基板2の一部にのみ接合されていてもよい。例えば、図1に示すようにセラミックス基板2の周辺部を除く部分にのみ形成されていてもよい。

ろう材4の厚さは限定されないが、一例として $0.005\sim0.05\text{mm}$ とされる。より具体的な例では 0.03mm 程度である。ろう材4の材質は限定されないが、好ましくは、 Al-Si 系、 Al-Ge 系、 Al-Mn 系、 Al-Cu 系、 Al-Mg 系、 Al-Si-Mg 系、 Al-Cu-Mn 系、および Al-Cu-Mg-Mn 系のろう材から選択された1種または2種以上とされる。いずれのろう材も Al 含有量は $70\sim98\%$ とされる。この中でも特に、 Al-Si 系ろう材又は Al-Ge 系ろう材が好ましい。これら Al-Si 系ろう材、 Al-Ge 系ろう材は、金属間化合物を生じ難いからであり、この金属間化合物が生じると、前述した $-40^\circ\text{C}\sim125^\circ\text{C}$ 程度の温度サイクル発生時に亀裂発生の原因となり易い。また、金属間化合物が生じ難いので、低い圧力下で接合することが可能になる。 Al-Si 系ろう材の一例を挙げると、 $95\sim75\%$ の Al

1 および 3 ~ 20 質量%の Si を含む合金であり、融点（共晶点）は 577℃である。

A1 板 3 の平均結晶粒径は 0.5 mm ~ 5 mm とされ、結晶粒径の標準偏差 σ は 2 mm 以下とされている。平均結晶粒径が 5 mm より大きいと、A1 板 3 の機械的特性に異方性が生じ、温度変化に曝されると回路基板 1 に反りが生じる可能性がある。平均結晶粒径が 0.5 mm より小さいと、加工硬化が大きくなり、温度サイクルによる変形抵抗が上昇し、セラミックスの割れや Si チップはんだ付け部のクラック発生が生じ易くなる。標準偏差が 2 mm 以上の場合には、結晶粒径のばらつきが大きくなりすぎるため、機械的特性に異方性を生じる可能性がある。

A1 板 3 の結晶粒径の測定は、以下のように行うことができる。絶縁セラミックス基板 2 と接合した A1 板 3 表面を、エッチングして導電層のマクロ組織を露出させる。エッチング液としては NaOH 水溶液や、HF、Ga などが使用できる。エッチング後、水洗および乾燥して、光学顕微鏡もしくは電子顕微鏡（SEM）により結晶粒の組織観察をおこなう。さらに、図 3 B に示すように顕微鏡画像に対して画像処理をおこなうことにより、平均結晶粒径および標準偏差を測定する。同様に、最大結晶粒径も求めることができる。

画像解析の方法の一例は以下の通りである。まず、セラミックス基板 2 に接合された A1 板 3 の表面を以下のいずれかの条件でエッチングし、マクロ組織すなわち A1 の結晶粒界を観察できるサンプルを作製する。

エッチング条件（1）：例えば、A1 板 3 の表面をフッ硝酸（酸性フッ化アンモニウム：100 g/L，硝酸 800 mL/L）で 3 分処理する。

エッチング条件（2）：例えば、A1 板 3 の表面を 4 質量% NaOH 水溶液で 20 分処理する。

エッチング条件（3）：A1 板 3 の表面を研磨したうえ Ga を塗布し、50℃×2 h で A1 の粒界に Ga を拡散させた後、さらに表面を鏡面研磨する。

得られたサンプルを光学顕微鏡または SEM など写真撮影し、写真中の各結晶粒境界を簡易 CAD ソフトなどで取り込み、画像処理を行うことにより個々の結晶粒の面積 S を求める。これを以下の式から平均粒径に変換する。

$$\text{平均粒径} = 2 \times \sqrt{S / \pi}$$

さらに、写真全体における平均粒径の分布から、平均値および標準偏差を算出すればよい。

最大結晶粒径を有する結晶の面積が、絶縁セラミックス基板2の面積に占める割合は、15%以下であることが好ましい。その場合には、回路基板1の反り量を低減することができる。

A1板3を絶縁セラミックス基板2と接合した場合、A1結晶が異常成長するとセラミックス基板2両面のA1板3の機械的特性に異方性を生じ、反り量が大きくなってしまいが、上記のようにA1板3の結晶粒径を設定すると、A1板3の機械的特性に異方性を低減でき、回路基板1の反りが低減できる。

絶縁セラミックス基板2の表裏に接合されるA1板3は、それぞれの厚みが等しくされることが好ましい。A1板3は絶縁セラミックス基板2の両面に接合されることが好ましい。片側のみであると絶縁セラミックス基板2に反りが発生しやすいためである。ただし、必要に応じては片側のみでもよい。

A1板3は、Cu、Fe、Siをいずれも20ppm以上含有していることが好ましい。この場合には、A1結晶の過度の成長が抑制され、結晶粒径のばらつきが低減されるため、一部の結晶粒の粗大化が生じにくく、機械的異方性の原因となりにくい。より好ましくは、Cuが20～60ppm、Feが20～40ppm、Cuが20～80ppmとされる。これらの上限値を超えると、0.2%耐力や加工硬度指数が前述した値（0.2%耐力が35N/mm²程度以下、加工硬度指数が0.18程度以下）より大きくなって、温度サイクル発生時に絶縁セラミックス基板との界面や導電層の上に搭載されるSiチップのはんだ付け面に応力発生し、絶縁セラミックス基板やはんだの亀裂発生の原因となる。

次に、上記回路基板1の製造方法を説明する。

A1板3の上に順に、シート状のろう材4、絶縁セラミック基板2、シート状のろう材4、およびA1板3を重ねる。これらに50～300kPa（0.5～3kgf/cm²）の圧力を加えつつ、真空中または不活性ガス中（例えばArガス雰囲気中）で600℃以上かつA1板3の融点以下の温度に加熱する。これによりろう材4が溶け、セラミックス基板2とA1板3が強固に接合される。こ

のときの加熱条件は、先に述べた結晶粒径条件を満たすように設定される。ろう付け後、室温まで冷却し、片面のA1板3を所定のパターンにエッチングし、回路を形成する。

貼り合わせの際の圧力が50 kPa未満では接合ムラが生じるおそれがある。300 kPaよりも大きいと接合時にセラミックス基板2に割れが発生しやすい。加熱温度が600℃未満であると、接合が不十分になりやすくなる。また、上記範囲を外れると前述した結晶粒径の条件を満たしにくくなる。

回路基板1の反り量を計るには、100 mm角の回路基板1の対角線上に100 mm間隔で2点を取り、この2点間の断面曲線を3次元測定装置またはレーザー変位計を用いて測定する。図2に示すように、この断面曲線と平面Pとの間隔のうち最大変位Cを測定する。回路基板1の交差する対角線のそれぞれに沿って測定した値のうち、大きい方を反り量として定義する。

A1板3の結晶成長は添加元素を増加することによって抑制可能であるが、この添加元素の濃度すなわちA1の純度により、A1自体の機械的特性が著しく変化する。上記の結晶粒径を実現するために、A1板3は、99.98質量%以上のアルミニウムを含む板材を200～450℃で最終熱処理したのち、15%以上の圧下率で圧延することにより得られていることが好ましい。これにより、A1板3の0.2%耐力を35 N/mm²程度以下、導電層の加工硬度指数を0.18程度以下にすることが容易になる。したがって、応力緩和効果を向上することができ、-40℃～125℃の温度サイクル試験をおこなった際に回路基板に割れが生じることを防止できる。また、A1板3において、最終熱処理からの圧下率が15%以上であれば、結晶粒の粗大化が進行しにくくなる。

本実施形態によれば、絶縁セラミックス基板2が、ヤング率が320 GPa程度で、反り抑制措置が必要な必要なアルミナ、AlN、または、Si₃N₄などから形成され、かつ、ろう材4が、導電層の結晶粒の成長がおきる500℃以上の温度領域、特に600℃以上の熱処理を必要としているAl-Si系のようなろう材とされた場合であっても、A1板3の平均結晶粒径が0.5 μm～5 μm程度の範囲とされ、かつ、結晶粒径の標準偏差σが2 μm程度以下に設定されることにより、A1板3の機械的特性に異方性が生じることを低減できる。従って、

絶縁セラミックス基板 2 および A 1 板 3 の熱膨張差に起因する熱応力の発生を低減し、回路基板 1 に反りやクラックが生じることを防ぎ、回路基板の長期的な信頼性を向上することが可能となる。

次に、本発明の第 2 実施形態であるパワーモジュールを説明する。本実施形態のパワーモジュール 10 には、前述の第 1 実施形態に係る回路基板 1 が実装されている。図 4 はパワーモジュール 10 の断面図である。

図 4 に示すように、パワーモジュール 10 は、放熱板 11 の一方の主面に 1 又は 2 以上の方形の回路基板 1 が固着されたものである。放熱板 11 は A 1 系合金板からなる板材であって、絶縁セラミックス基板と同様、熱伝導率が高く（例えば 150 W/mK 以上）、熱膨張係数が低い（例えば $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 以下）ものが好ましく、A 1 S i C からなるもの、あるいは、孔明き F e - N i 合金板の両面に A 1 を接合した三層構造のものが好適である。また、放熱板 11 の厚さは限定されないが、一例として $3 \sim 10\text{ mm}$ のものが使用される。回路基板 1 は、前述した第 1 実施形態と同様のものとされ、A 1 N 等からなる例えば厚さ $0.3 \sim 1.5\text{ mm}$ の絶縁セラミックス基板 2 と、絶縁セラミックス基板 2 の両面に接合された第 1 および第 2 の A 1 板 3 を備える。第 1 及び第 2 A 1 板 3 は、例えば厚さが $0.25 \sim 0.6\text{ mm}$ とされる。回路基板 1 は例えば一辺が 30 mm 以下の方形状とされる。

回路基板 1 は、放熱板 11 にろう材によりろう付けされている。ろう材としては、A 1 - S i 系、A 1 - C u 系、A 1 - M g 系、A 1 - M n 系および A 1 - G e 系のろう材から選ばれる 1 又は 2 以上を用いることが好ましい。回路基板 1 を放熱板 11 へろう付けするには、放熱板 11 の上にろう材のシートおよび回路基板 1 をこの順序で重ね、これらに圧力 $50 \sim 300\text{ kPa}$ を加え、真空中または不活性ガス中で $580 \sim 650^{\circ}\text{C}$ に加熱してろう材を熔融させ、その後冷却する。上記ろう材としては、融点がろう材 4 の融点以下であり、より好ましくは $500 \sim 630^{\circ}\text{C}$ 、例えば 575°C 程度のものが好適である（ただし、融点とは液相線を越える点とする）。この場合、絶縁セラミックス基板 2 と A 1 板 3 を接合したろう材 4 は完全には熔融せずに、放熱板 11 と第 1 A 1 板 3 とを接合させることができる。

このように構成されたパワーモジュール10は、放熱板11の隅に形成された取付孔11aに雄ねじ13が挿入され、これら雄ねじ13が水冷式ヒートシンク14に形成された雌ねじ14aにそれぞれ螺合されることにより、放熱板11の他方の面が、例えばAl合金からなる水冷式のヒートシンク14に密着接合される。

このように構成されたパワーモジュール10では、第1実施形態と同様の効果を奏する。このような回路基板1を実装したことにより、熱サイクル時に生じる回路基板1の縁における収縮量の相違も比較的小さく抑制できて、パワーモジュール10の熱サイクル寿命を延ばすことができる。その結果、パワーモジュールとしての信頼性を向上できる。

実施例

以下、本発明の実施例について説明する。

<実施例1,>

図4に示す構造のパワーモジュールを作成した。

50mm×50mm×0.635mmのAlN製セラミック基板2の両面に、縦横寸法が絶縁セラミック基板2と同一で、厚さが0.4mmのAl板3をそれぞれ接合して回路基板1を作成した。Al板3は、450℃での最終熱処理後、圧下率30%で圧延を行ったもので、99.99質量%のAl、23ppmのCu、30ppmのSi、33ppmのFeを含有していた。ろう材4は、8質量%のSiを含有するAl-Si系ろう材とした。このろう材の融点は626℃であった。Al板3、Al-Si系ろう材4、絶縁セラミック基板2、Al-Si系ろう材4、Al板3をこの順序で重ねた状態で、これらに圧力200kPaを加えつつ、真空中で630℃に加熱し、10分経過後冷却することによりこれらを接合した。

次に、100mm×100mm×3mmのAlSiCからなる放熱板11と、Siチップ16を用意し、回路基板1と放熱板11とSiチップ16をハンダでろう付けしてパワーモジュール10を得た。こうして得られたパワーモジュールを30個用意し実施例1の試料とした。

<実施例 2 ～ 12 および比較例 1 ～ 6 >

表 1 に示すように、絶縁セラミックス基板の材料、ろう材、最終圧延率、Al 純度、Cu 量、Si 量、Fe 量を種々変化させて、パワーモジュールをそれぞれ 30 個作成した。比較例については、比較例 1 が Cu 量、比較例 2 が Si 量、比較例 3 が Fe 量、比較例 4 が最終圧延率、比較例 5 が Al 純度をそれぞれ本発明のねらいとする範囲から外して作成した。また、比較例 6 は絶縁セラミックス基板の片面にのみ Al 板を接合した。

実施例 1 ～ 12、比較例 1 ～ 6 のそれぞれの Al 板 3 の表面を、2 ～ 5 % NaOH 水溶液でエッチングしてマクロ組織を露出させ、電子顕微鏡 (SEM) で結晶粒の組織観察をおこなって画像処理し、平均結晶粒径、標準偏差、最大結晶粒径、および導電層に含まれる最大結晶粒径を有する結晶の面積が絶縁セラミックス基板 2 の面積に占める割合を測定した。結晶粒径については、結晶粒の面積 (S) を測定し、これを円周率 (π) で割ったものの平方根から半径を求めて 2 倍した ($2 \times \sqrt{(S/\pi)}$)。結果を表 1 に併記する。

表 1

No.	セラミックス	ろう材	最終 圧延率	Al 純度	Cu 量	Si 量	Fe 量	平均結晶粒径 (nm)	標準偏差 (nm)	最大結晶粒径 (nm)
実施例 1	AlN	Al-8wt%Si	30%	99.99%	23ppm	30ppm	33ppm	2.9	0.7	4.0
実施例 2	AlN	Al-8wt%Si	30%	99.98%	80ppm	35ppm	39ppm	1.9	0.7	3.1
実施例 3	AlN	Al-8wt%Si	30%	99.98%	80ppm	35ppm	39ppm	2.0	1.0	4.0
実施例 4	AlN	Al-8wt%Si	30%	99.98%	80ppm	35ppm	39ppm	1.8	0.9	3.2
実施例 5	Si ₃ N ₄	Al-8wt%Si	30%	99.98%	80ppm	35ppm	39ppm	2.1	0.8	3.3
実施例 6	Si ₃ N ₄	Al-4wt%Si	30%	99.98%	80ppm	35ppm	39ppm	2.3	0.9	3.7
実施例 7	AlN	Al-8wt%Si	15%	99.98%	20ppm	60ppm	40ppm	3.4	1.1	4.6
実施例 8	AlN	Al-8wt%Si	15%	99.98%	80ppm	20ppm	40ppm	2.1	0.8	3.2
実施例 9	AlN	Al-8wt%Si	15%	99.98%	80ppm	60ppm	20ppm	1.7	0.7	3.1
実施例 10	AlN	Al-8wt%Si	15%	99.99%	20ppm	20ppm	20ppm	3.9	1.3	4.8
実施例 11	AlN	Al-12wt%Si	15%	99.99%	20ppm	20ppm	20ppm	4.2	1.4	4.9
実施例 12	AlN	Al-45wt%Ge	15%	99.99%	20ppm	20ppm	20ppm	4.1	1.5	4.8
比較例 1	AlN	Al-8wt%Si	30%	99.99%	16ppm	32ppm	31ppm	22.9	15.5	84.9
比較例 2	AlN	Al-8wt%Si	30%	99.99%	25ppm	12ppm	16ppm	4.3	3.2	14.9
比較例 3	AlN	Al-8wt%Si	30%	99.99%	23ppm	28ppm	10ppm	3.8	3.2	15.0
比較例 4	AlN	Al-8wt%Si	10%	99.99%	23ppm	28ppm	39ppm	3.2	3.5	17.2
比較例 5	AlN	Al-8wt%Si	30%	99.95%	350ppm	500ppm	450ppm	21.9	5.5	46.7
比較例 6	AlN	Al-8wt%Si	30%	99.99%	23ppm	30ppm	33ppm	2.9	0.7	4.7

＜比較試験及び評価＞

実施例 1 ～ 12 および比較例 1 ～ 6 のパワーモジュールを、冷熱衝撃試験器にセットし、 $-40^{\circ}\text{C} \times 30$ 分、室温 $\times 30$ 分、 $125^{\circ}\text{C} \times 30$ 分、および室温 $\times 30$ 分を 1 サイクルとする熱処理を繰り返した。温度サイクルを 100 回繰り返した時点で、回路基板 1 と放熱板 11 との間、および、絶縁セラミック基板 2 と A1 板 3 との間の剥離の有無を観察し、剥離が確認されない場合には更に温度サイクルを 100 回繰り返した。この工程を繰り返して、剥離が確認されるまでの温度サイクル回数を温度サイクル寿命として測定した。剥離の有無は拡大鏡により確認することにより行った。この結果を表 2 に示す。

各回路基板 1 において反り量を測定し、30 個のうち、A1 板 3 接合後の製造工程中に発生した不具合数をカウントした。不具合数とは、回路基板製造工程や、この絶縁回路基板を用いパワーモジュールを製造するアセンブリ工程での不具合を生じたパワーモジュールの個数である。不具合とは、具体的には、反り量が大きいために回路パターン形成用のレジスト印刷工程中に基板固定のための吸着ステージ上でセラミックス基板が割れたり、ヒートシンクはんだ付け中に反りに起因したはんだボイドが発生するなどである。これらの結果を表 2 に併記する。

表 2

No.	反り量 (μm)	製造中の不具合数	温度サイクル試験結果
実施例 1	46	0/30	3000 サイクル以上良好
実施例 2	32	0/30	3000 サイクル以上良好
実施例 3	40	0/30	3000 サイクル以上良好
実施例 4	38	0/30	3000 サイクル以上良好
実施例 5	39	0/30	3000 サイクル以上良好
実施例 6	48	0/30	3000 サイクル以上良好
実施例 7	35	0/30	3000 サイクル以上良好
実施例 8	33	0/30	3000 サイクル以上良好
実施例 9	40	0/30	3000 サイクル以上良好
実施例 10	45	0/30	3000 サイクル以上良好
実施例 11	48	0/30	3000 サイクル以上良好
実施例 12	48	0/30	3000 サイクル以上良好
比較例 1	305	5/30	絶縁回路基板とヒートシンク間のはんだ 1500 サイクルで割れ。
比較例 2	213	3/30	絶縁回路基板とヒートシンク間のはんだ 1500 サイクルで割れ。
比較例 3	195	3/30	絶縁回路基板とヒートシンク間のはんだ 1500 サイクルで割れ。
比較例 4	50	3/30	絶縁回路基板とヒートシンク間のはんだ 1500 サイクルで割れ。
比較例 5	225	4/30	絶縁回路基板の表 Al とセラムの界面において 500 サイクルで剥がれ。
比較例 6	315	4/30	絶縁回路基板とヒートシンク間のはんだ 1500 サイクルで割れ。

<評価>

表1に示すように、実施例1～12では、Al板3を最終圧下率15%以上、純度99.98質量%以上、20ppm以上のCu、20ppm以上のSi、20ppm以上のFeが含有されたものとするにより、平均結晶粒径が0.5mm～5mm、結晶粒径の標準偏差 σ が2mm以下となった。実施例1～12のパワーモジュールは、いずれも良好な温度サイクル寿命を有していた。

これに対して、上記条件からはずれた比較例1～6では、平均結晶粒径および標準偏差が本発明範囲を満たさず、温度サイクル寿命が短くなった。

図5は、実験により得られた平均結晶粒径と温度サイクル寿命との関係を示す。図5から、平均結晶粒径が0.5より小さいと温度サイクル寿命が3100回以下と極端に短くなっているのがわかる。また、導電層の平均結晶粒径が0.8mm以上1.5mm以下の範囲であると5000回程度と温度サイクル寿命が非常に長くなっていることがわかる。

図6は、導電層に含まれる最大結晶粒径を有する結晶の面積が絶縁セラミックス基板の面積に占める割合と反り量との関係を示す。図6から、最大結晶粒径部分が、基板全体の15%を超えると50mmあたりの基板の反り量が120 μ m以上に急増することがわかる。

一方、Al板内のSi濃度を測定した結果、Al板/AlN基板の接合時には、ろう材に含まれるSiがAl板中へ拡散していることが確認された。図7はAl/AlNの接合界面からAl板内へ向かう距離Xと、Si濃度との関係を示すグラフである。このグラフに示されるように、Siが拡散する深さは、Al/AlNの接合界面から0.1mm程度であった。したがって、Al板の表層部（例えば厚さ0.1mm程度の範囲）について元素分析を行えば、ろう材からのSi拡散の影響を受けることなく、Al板材そのものの組成を測定することができる。よって、Si:20～60ppm、Fe:20～40ppm、Cu:20～80ppmといった微量分析も十分に可能である。

図7に示すように、Al板/AlN基板の接合界面付近では、0.1質量%程度のSiが拡散し、Al純度が99.90質量%程度までに減少している。このようなSi拡散によって、Al板の接合界面付近は相対的に高強度となり、クラ

ックの進展を防止する効果が得られる。A 1 板の残りの部分（表面側の約 3 / 4 の領域）については、高純度 A 1 の状態が確保されているため、変形抵抗が小さく、温度サイクル試験時に、A 1 N 基板にかかる応力を低減できる。

産業上の利用の可能性

本発明によれば、回路基板の反りを低減できるだけでなく、温度変化に曝された場合にもセラミックス基板に割れ等の不具合が生じることが防止できる。

請求の範囲

1. 絶縁セラミックス基板の両面に導電層が接合された回路基板であって、前記導電層は、99.98質量%以上のアルミニウムを含み、その平均結晶粒径は0.5mm以上かつ5mm以下であり、結晶粒径の標準偏差 σ は2mm以下である。
2. 請求項1記載の回路基板であって、前記導電層は、Cu、Fe、Siのそれぞれを20ppm以上含有し、かつ圧延されている。
3. 請求項2記載の回路基板であって、前記導電層は、15%以上の圧下率で圧延されている。
4. 請求項1記載の回路基板であって、前記導電層に含まれる最大結晶粒径を有する結晶の面積は、前記絶縁セラミックス基板の面積の15%以下である。
5. 請求項1記載の回路基板であって、前記絶縁セラミックス基板は、 Al_2O_3 、 AlN 、および Si_3N_4 の少なくとも1種により形成されている。
6. 請求項1記載の回路基板であって、前記導電層は前記絶縁セラミックス基板表面にろう材を用いて接合され、前記ろう材は、Al-Si系、Al-Ge系、Al-Mn系、Al-Cu系、Al-Mg系、Al-Si-Mg系、Al-Cu-Mn系、およびAl-Cu-Mg-Mn系のろう材から選択される1または2以上のろう材である。
7. 請求項2記載の回路基板であって、前記導電層に含まれる最大結晶粒径を有する結晶の面積は、前記絶縁セラミックス基板の面積の15%以下であり、前記絶縁セラミックス基板は、 Al_2O_3 、 AlN 、および Si_3N_4 の少なくとも1種により形成されており、前記導電層は前記絶縁セラミックス基板表面にろう材を用いて接合され、前記ろう材は、Al-Si系、Al-Ge系、Al-Mn系、

Al-Cu系, Al-Mg系, Al-Si-Mg系, Al-Cu-Mn系, およびAl-Cu-Mg-Mn系のろう材から選択される1または2以上のろう材である。

8. 回路基板の製造方法であって、絶縁セラミックス基板上にろう材を介して、
99. 98質量%以上のアルミニウムを含む導電層を配置し、これらを50kPa以上かつ300kPa以下の力で圧接させつつ、真空中または不活性ガス中で600℃以上に加熱することにより前記導電層と前記絶縁セラミックス基板とを前記ろう材で接合し、かつ、前記導電層の平均結晶粒径を0.5mm以上かつ5mm以下、結晶粒径の標準偏差 σ を2mm以下にする。

9. 請求項8記載の回路基板の製造方法であって、99.98質量%以上のアルミニウム、及びCu、Fe、Siのそれぞれを20ppm以上含む板材を熱処理したのち15%以上の圧下率で圧延を行うことにより前記導電層を得る工程をさらに有する。

10. 請求項1記載の回路基板と、この回路基板を支持する放熱板とを有するパワーモジュール。

11. 請求項10のパワーモジュールであって、前記回路基板の前記導電層の少なくとも一部は、前記放熱板に対して、前記ろう材よりも融点の低いろう材により接合されている。

1/6

FIG. 1

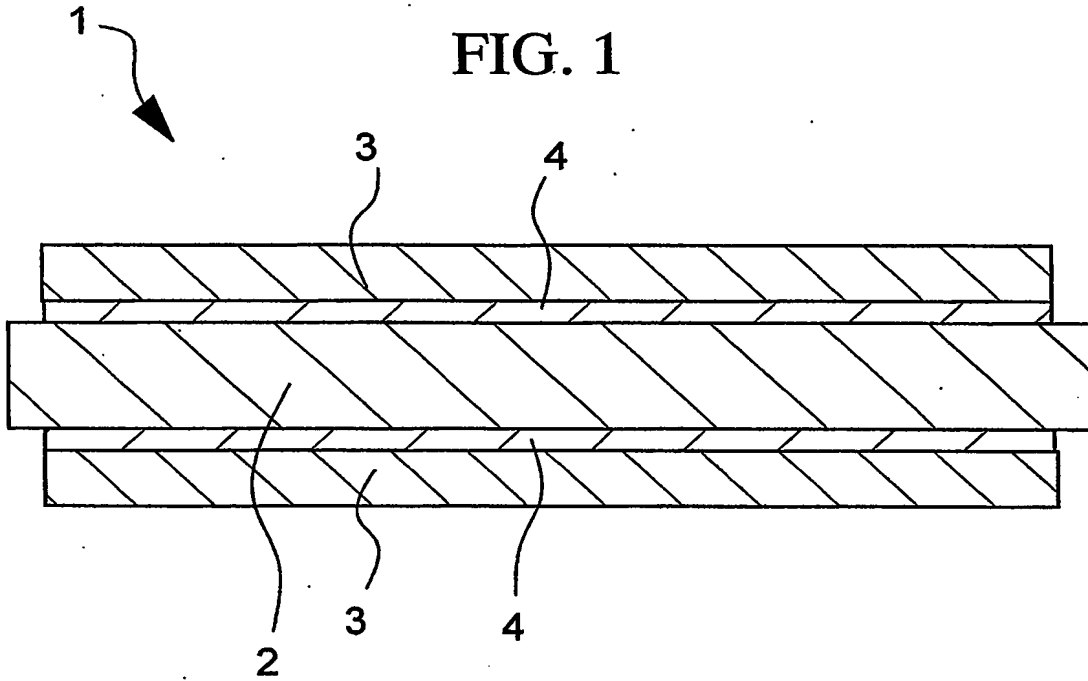
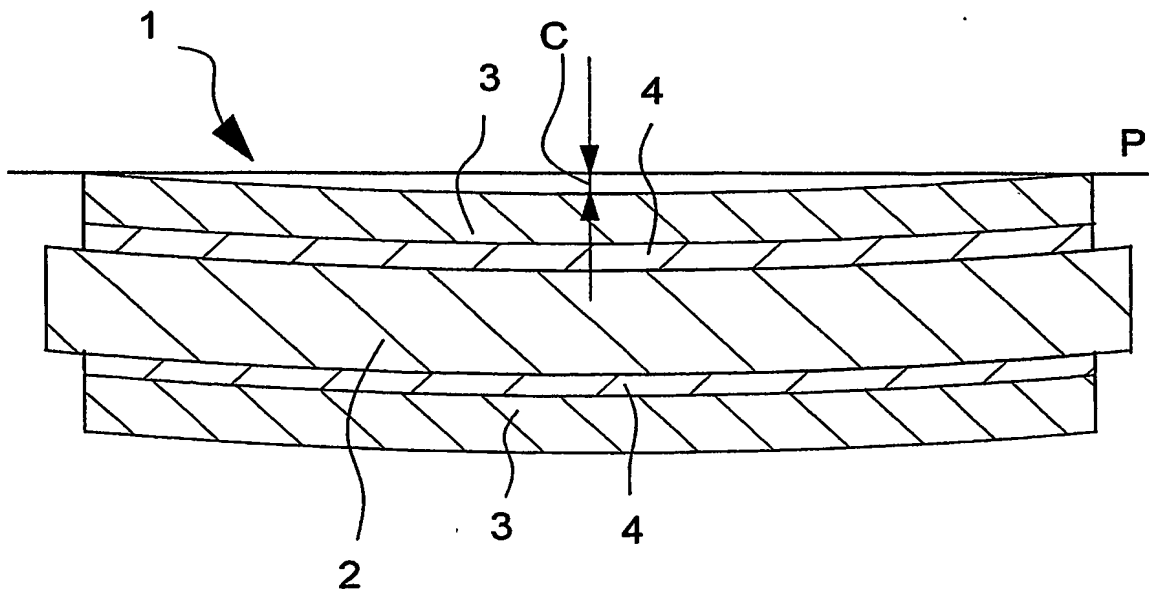


FIG. 2



2/6

FIG. 3A

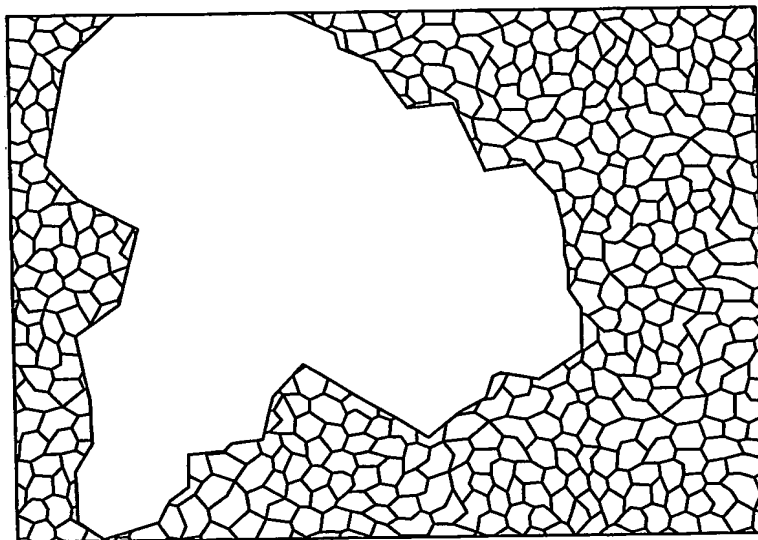
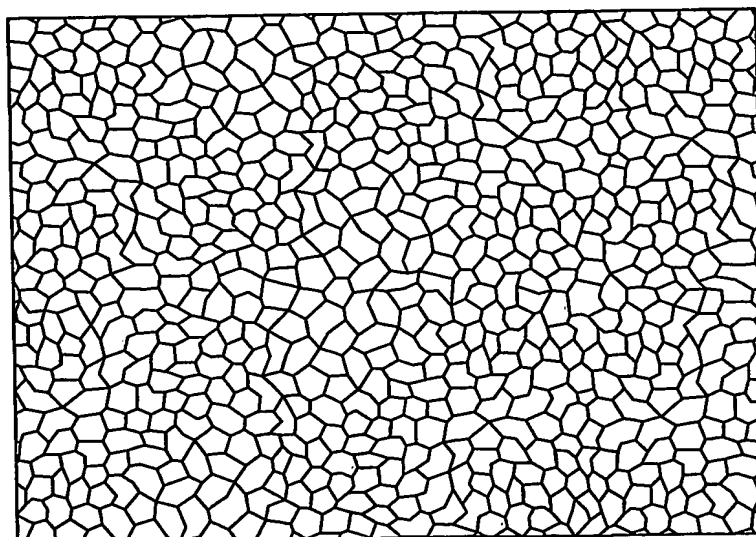
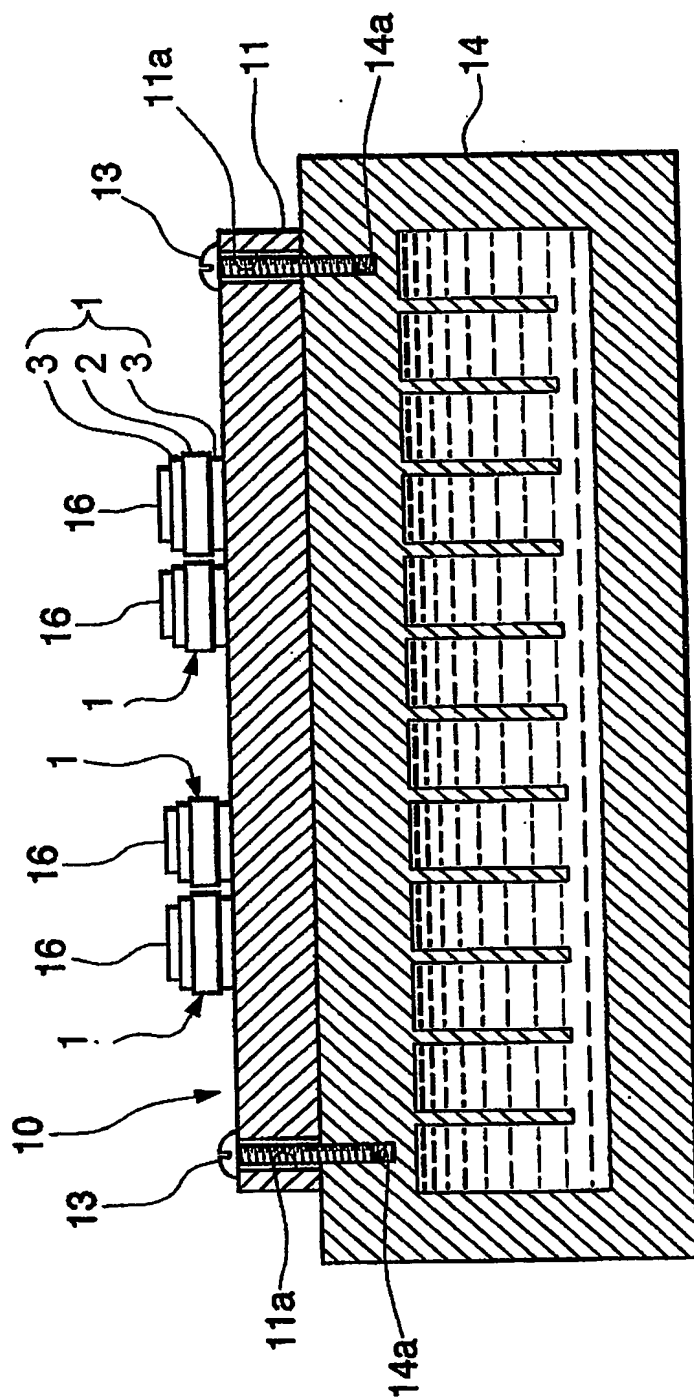


FIG. 3B

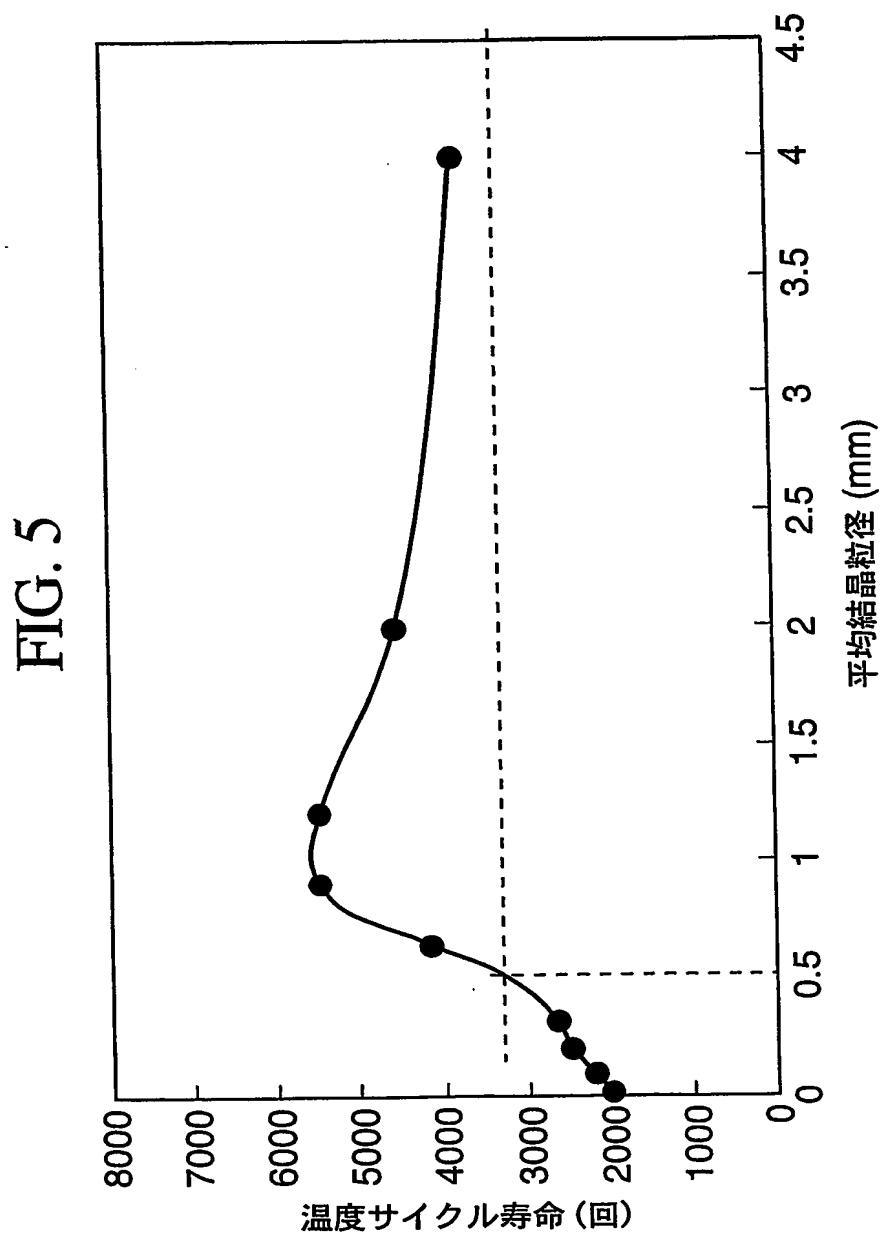


3/6

FIG. 4

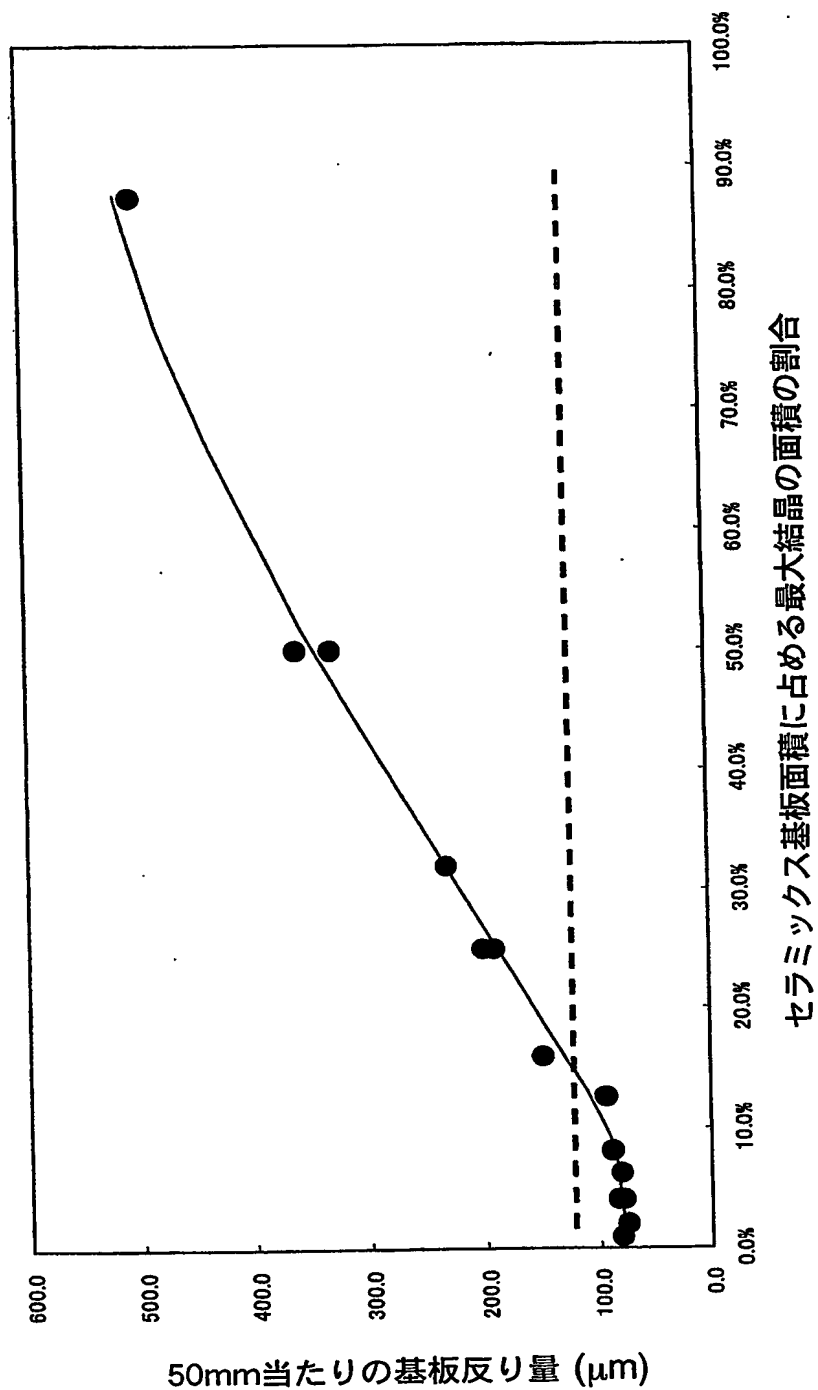


4/6



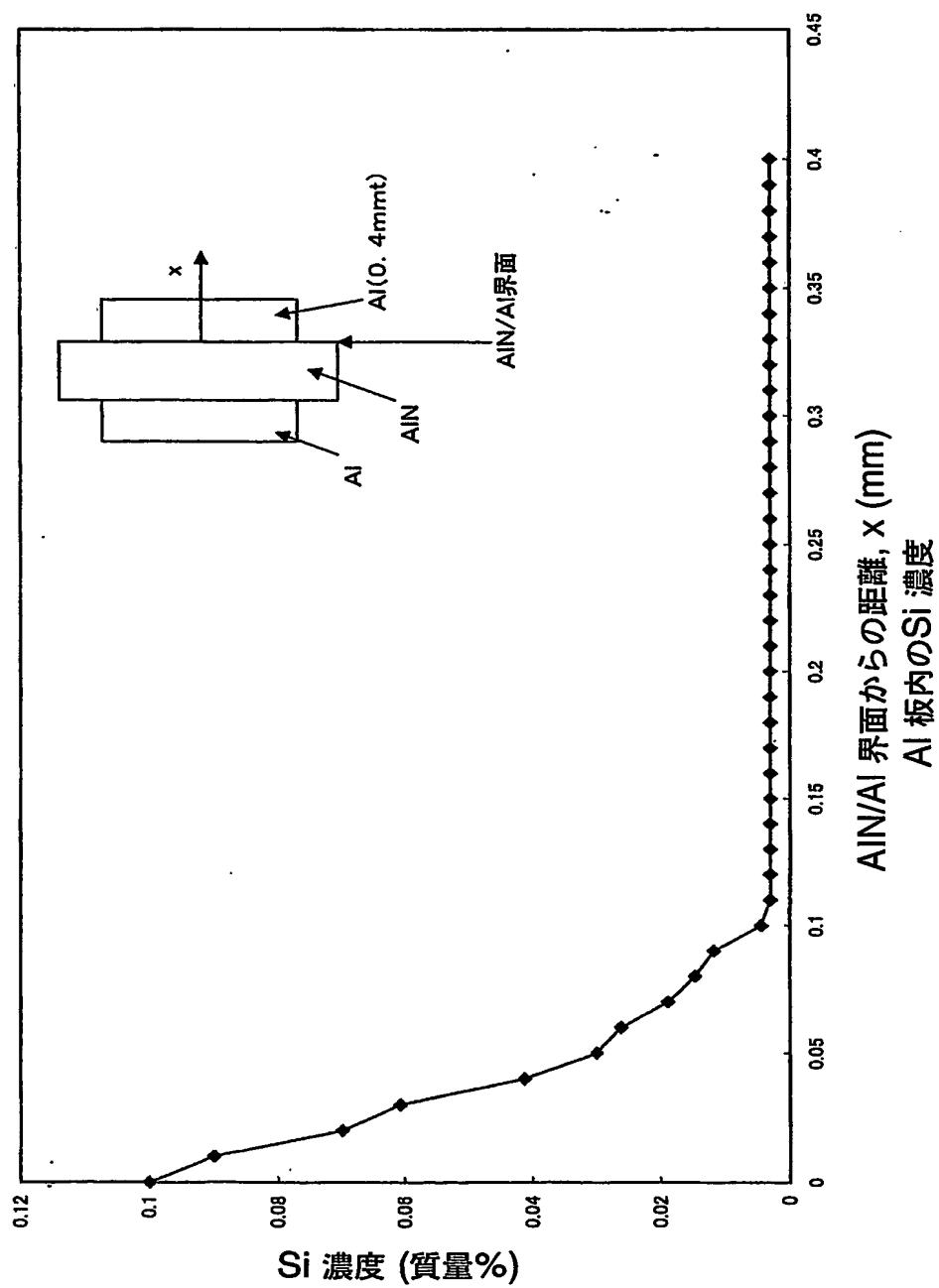
5/6

FIG. 6



6/6

FIG. 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/05054

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H01L23/14, 23/373, H05K3/38

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ H01L23/12-23/15, 23/373, H05K3/38

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 09-315875 A (Dowa Mining Co., Ltd.), 09 December, 1997 (09.12.97), Full text (Family: none)	1-11
A	JP 2001-168250 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 22 June, 2001 (22.06.01), Full text (Family: none)	1-11
A	EP 045229 A2 (Mitsubishi Materials Corp.), 30 April, 1991 (30.04.91), Full text & JP 04-12554 A Full text & US 5213877 A	1-11

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 July, 2003 (07.07.03)

Date of mailing of the international search report
22 July, 2003 (22.07.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/05054

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-340912 A (Kyocera Corp.), 08 December, 2000 (08.12.00), Full text (Family: none)	1-11
A	JP 2001-53199 A (Denki Kagaku Kogyo Kabushiki Kaisha), 23 February, 2001 (23.02.01), Full text (Family: none)	1-11

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L 23/14, 23/373, H05K 3/38

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L 23/12-23/15, 23/373, H05K 3/38

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 09-315875 A (同和鉱業株式会社) 1997. 12. 09, 全文 (ファミリーなし)	1-11
A	JP 2001-168250 A (住友電気工業株式会社) 2001. 06. 22, 全文 (ファミリーなし)	1-11
A	EP 045229 A2 (Mitsubishi Materials Corp.) 1991. 04. 30, 全文 & JP 04-12554 A, 全文 & US 5213877 A	1-11

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

07. 07. 03

国際調査報告の発送日

22.07.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

酒井 英夫

4R

9631

電話番号 03-3581-1101 内線 3469

C (続き) . 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2000-340912 A (京セラ株式会社) 2000. 12. 08, 全文 (ファミリーなし)	1-11
A	JP 2001-53199 A (電気化学工業株式会社) 2001. 02. 23, 全文 (ファミリーなし)	1-11